Aus dem Röntgeninstitut der Universität Bern
Direktor: Prof. Dr. Ad. Liechti
Leitung der Arbeit: Dr. W. Minder

Strahlenbiologische Versuche an Pfahlwurzeln von Leguminosen unter gleichzeitiger Einwirkung verschiedener Anionen

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Würde eines Doctor medicinae dentium
der
Universität Bern

vorgelegt von
JOSEF WISMER
aus Luzern

1943
Druck- und Verlagsanstalt Calendaria AG. Immensee

Aus dem Röntgeninstitut der Universität Bern
Direktor: Prof. Dr. Ad. Liechti
Leitung der Arbeit: Dr. W. Minder

Strahlenbiologische Versuche an Pfahlwurzeln von Leguminosen unter gleichzeitiger Einwirkung verschiedener Anionen

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Würde eines Doctor medicinae dentium
der
Universität Bern

vorgelegt von

JOSEF WISMER
aus Luzern

1943
Druck- und Verlagsanstalt Calendaria AG. Immensee

Auf Antrag des Herrn Prof Dr. Ad. Liechti von der medizinischen Fakultät zum Druck als Dissertation genehmigt.

Bern, den 12. Mai 1943

Der Dekan
der medizinischen Fakultät:

Prof. A. v. Muralt

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meinen lieben Eltern

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546502_0090

I. Einleitung und Problemstellung

Zwei Hauptprobleme gibt es, die sich uns in der Anwendung von Strahlen, besonders zu therapeutischen Zwecken, stellen:

1. Die Strahlenmessung in einer Einheit, die mit der Anwendung der Strahlen in einem brauchbaren Zusammenhang steht. Die Meßbedingungen müssen dabei den Bedingungen der Anwendung in der Therapie angeglichen werden. Nur dadurch kann man sich Rechenschaft geben, welcher Art die Wirkungen der Strahlen sind. Zur Anwendung kommt dabei ein Hauptgesetz (Grotbus-Draper): »Nur derjenige Anteil der Strahlung kann zu irgendeiner Wirkung gelangen, der im betreffenden Objekt beim Schwächungsvorgang der Strahlung zurückgehalten wird.« Bei der Messung muß also der zurückgehaltene Anteil in Betracht gezogen, d. h. gemessen werden. Beim Licht aller Wellenlängen (infrarot-ultraviolett) ist die Schwächung außerordentlich von der Wellenlänge abhängig und schon innerhalb enger Spektralbereiche um mehrere Zehnerpotenzen verschieden. Es ist daher eine Messung auf dieser Grundlage für Licht nicht möglich. Eine weitere Schwierigkeit liegt darin, daß alle bisher zur Verfügung stehenden Meßinstrumente für Licht (Photozellen, Thermoelemente und Bolometer) entweder starke Empfindlichkeitsunterschiede bei verschiedenen Spektralbereichen haben (Photozellen), oder aber sie messen den ganzen Spektralbereich in Form von Wärme (Thermoelement und Bolometer), so daß die biologische Wirkung nun in keinem vernünftigen Verhältnis zu der gemessenen Wärme mehr steht. Insofern ist es bisher nicht möglich, eine bestimmte Einheit und ein bestimmtes Meßverfahren für das Licht aller Wellenlängen aufzustellen.

Wesentlich günstiger liegen die Verhältnisse im Gebiete der Röntgen- und Gammastrahlen. Hier weiß man aus vielen Versuchen, daß der Schwächungsvorgang in hohem Maße von der Wellenlänge der Strahlen und der chemischen Zusammensetzung des schwächenden Mediums abhängig ist. Die Aufgabe der Messung von Röntgen- und Gammastrahlen besteht somit wesentlich darin, ein Medium zu finden, das praktisch dieselben Schwächungsverhältnisse zeigt wie das biologische Gewebe. Diese Anforderungen erfüllt in hohem Maße (aber nicht ganz quantitativ) die atmosphärische Luft. Sie ist (ohne Bestrahlung!) ein praktisch vollkommener Isolator und die Ionisation der Luft ist in sehr weiten Grenzen der Strahlungsintensität

linear proportional. Somit mißt man Röntgenstrahlen durch ihre Ionisation der Luft. Die Einheit, die auf dieser Messung basiert, nennt man das internationale Röntgen = 1 r. Es definiert sich als diejenige Strahlenmenge, die unter Beobachtung bestimmter Bedingungen (Ausschluß aller störenden Effekte: Sekundärstrahlen des Meßapparates usw.) in 1 cm^3 Luft von Normalzustand (0 ° C, 760 mm Hg) eine Ionisation hervorruft von einer elektrostatischen Einheit. Diese Einheit und die darauf gegründete Messung ist von der Wellenlänge der Röntgen- bzw. Gammastrahlen unabhängig. Da nur derjenige Anteil der Strahlung gemessen wird, der sich durch den Schwächungsvorgang in Ionisation umwandelt, so erkennt man sogleich den Zusammenhang mit dem Gesetz von Grotbus-Drapper.

Das zweite Hauptproblem in der Anwendung von Strahlen formuliert sich durch die Frage: Besteht eine Parallelität oder vielleicht sogar eine lineare Abhängigkeit zwischen physikalischer Dosis und biologischer Dosis-Wirkung? Experimentelle Feststellungen ergaben, daß wohl eine Parallelität vorhanden ist, doch keine Linearität. Der Zusammenhang zwischen Dosis (= in r gemessene Röntgenstrahlenmenge) und Dosiswirkung ist offensichtlich kompliziert. Strahlenbiologische Versuche zeigten, daß verschiedene Objekte sehr verschieden auf Röntgenstrahlen empfindlich sind. Und zwar variiert diese Empfindlichkeit ebenfalls über mehrere Zehnerpotenzen. Beispiele: Vicia faba equina zeigt deutliche Reaktion bei der Bestrahlung von Dosen der Größenordnung 50—100 r, während kleine Bakterien und Vira erst bei Dosen von 10 000—100 000 r eine deutliche Wirkung zeigen. Es gibt also keine biologische Wirkungsdosis im weitesten Sinne. Dadurch wird das Problem der Abhängigkeit zwischen biologischer Dosiswirkung und der in r gemessenen physikalischen Dosis sehr kompliziert. Infolge dieser Kompliziertheit bleiben uns zur Klärung des Problems im wesentlichen nur zwei Wege offen:

a) Der erste Weg besteht darin, bei möglichst vielen biologischen Objekten ihre *(meßbare)* Reaktion auf Röntgenstrahlen zu untersuchen. Dadurch gelangt man zu allgemein gültigen Gesetzmäßigkeiten. Solche Gesetzmäßigkeiten sind schon aufgestellt und zeigen im wesentlichen, daß die Lebensäußerungen von biologischen Objekten unter Röntgeneinwirkung verändert werden, und zwar im allgemeinen im Sinne einer Einschränkung (verglichen mit der Norm). Diese Einschränkung von Lebensäußerungen kann man als »Schädigung« definieren; denn sie kann sogar den Tod einschließen. Eine zweite allgemeine Gesetzmäßigkeit scheint zu zeigen, daß der Zusammenhang zwischen Dosis und Dosiswirkung nach statistischen

Gesetzmäßigkeiten verläuft (einfache oder zusammengesetzte Exponentialfunktionen).

b) Dem Problem kann man aber auch von anderer Seite zu Leibe rücken: Man variiert bei ein und demselben Objekt (z. B. Vicia faba equina) die Bedingungen, unter denen man die Strahlenwirkung kontrolliert, möglichst vielseitig. So müßte man mit der Zeit zur Klärung der Frage kommen, welcher Art die Strahlenwirkung auf das Objekt sein muß, d. h. was unter dem Strahleneinfluß im Objekt überhaupt chemisch-physikalisch vor sich geht.

Am hiesigen Institut hat man die Versuchsbedingungen an ein und demselben Objekt (Vicia faba equina) sehr weitgehend variiert. Dieses Objekt ist von Glocker, Hayer und Jüngling mit Erfolg in die Strahlenbiologie eingeführt worden; denn es entspricht weitgehend den Anforderungen, die nach Holthusen an ein Testobjekt für strahlenbiologische Untersuchungen (Meßmöglichkeit, Strahlenempfindlichkeit usw.) gestellt werden müssen.

Zunächst wurde einmal die Strahlenreaktion als solche geprüft (Salzmann). Dann ist von Doelken kontrolliert worden, ob gleiche Strahlenmengen bei verschiedenen Intensitäten eine verschiedene Wirkung erzeugen; mit andern Worten, ob ein Zeitfaktor vorhanden ist, was tatsächlich der Fall ist. Ferner ist geprüft worden die Einwirkung von Ultraviolett (H. Backes und P. Herren), die Summation verschiedener Wellenlängen (Röntgen und Ultraviolett) durch V. Rösli, die Einwirkung von β- und γ-Strahlen (J. Arnold), des weitern der Temperaturkoeffizient (J. Hauser), und schließlich ist von meinem Kollegen W. Klee die Einwirkung von extrem hohen Dosen (bis 50 000 r) studiert worden.

Nun weiß man aus Arbeiten von Liechti, Wilbrandt und Mitarbeitern, daß Anionen von der Reihe Cl, NO_3, SO_4, SCN die osmotischen Verhältnisse der Zellmembran sehr wesentlich beeinflussen (Versuche über Strahlenhämolyse). Aus früheren Versuchen (Salzmann und Doelken) ist nun schon bekannt, daß die Dosis von 250 r bei Vicia faba equina das Wachstum sehr wesentlich verringert. Die Frage für vorliegende Arbeit formuliert sich daher folgendermaßen:

> Beeinflussen diese Anionen (Cl, NO_3, SO_4, SCN), die beim Blut den Strahleneffekt deutlich modifiziert haben, den Strahleneffekt bei Vicia faba equina? Findet ein solcher Einfluß statt, so ist zu entscheiden, welcher Art er ist.

II. Versuche

1. Material

Wie in der Einleitung schon bemerkt, eignet sich für strahlenbiologische Versuche ganz besonders die Pferdebohne VICIA FABA EQUINA. Als Folge der kriegswirtschaftlichen Lage war dieses Objekt aber leider anfänglich nicht erhältlich. So mußten die ersten Versuche mit der Puffbohne durchgeführt werden, die aber nur in beschränkter Anzahl zur Verfügung stand und überdies in ihrer Eignung zweifelhaft war. Als zweites Versuchsobjekt diente dann die SOYA HISPIDA, die zwar in ausreichenden Quantitäten erhältlich war, in ihrer Eignung aber ebenfalls — wie die PUFFBOHNE — ein Problem darstellte. Glücklicherweise konnte dann, trotz der Ungunst der Zeit, die am hiesigen Institut als Standardobjekt für strahlenbiologische Versuche bis anhin verwendete Pferdebohne VICIA FABA EQUINA beschafft werden, die dann auch, wie die Versuche zeigten, weitaus die besten Resultate lieferte.

Als Nährmilieux dienten uns die Anionen der Salze KSCN, K_2SO_4, KNO_3 und KCl. Alle Salze enthielten das gleiche Kation Kalium, um für alle Versuche auch in dieser Hinsicht gleiche Bedingungen zu haben.

2. Methodik

Nach der hier am Institut gehandhabten Praxis (Vgl. z. B. die Dissertation von J. H a u s e r) wurden die Bohnen 24 Stunden zum Vorquellen in Leitungswasser gelegt, um dann für 3 Tage in feuchtes, steriles Sägemehl zum Keimen verpflanzt zu werden. Bei der vorliegenden Arbeit wurde das Sägemehl befeuchtet mit m/30 Lösungen meiner Nährsalze, d. h. je nach dem Versuch mit m/30 KCl resp. m/30 KNO_3 usw. Nach 3 Tagen wurden aus der Anzahl der Keimlinge jene ausgewählt, welche 20—30 mm lange Wurzeln getrieben hatten. Die eine Hälfte dieser Keimlinge wurde nun bestrahlt, während die andere Hälfte unbestrahlt als Kontrolle diente.

Pro Versuchsreihe wurden jeweils 120 Bohnen verwendet, sowohl bestrahlte wie unbestrahlte, um einen möglichst brauchbaren Mittelwert zu erhalten. Einzig bei der Puffbohne mußte der Mittelwert aus einer kleineren Anzahl berechnet werden.

Um einen Einblick zu erhalten in die Wirkung der verwendeten Ionen, wurden zum Vergleiche Kontrollwerte von meinem Kollegen

W. K l e e herangezogen, die er erhalten hatte aus Versuchen mit Bohnen, die weder bestrahlt noch in einem modifizierten Nährmilieu (d. h. Sägemehl mit Leitungswasser befeuchtet) gezüchtet worden waren.

Zur Bestrahlung wurden je 12 Keimlinge radspeichenförmig mit den Wurzeln nach dem Zentrum auf eine flache Anhäufung von feuchtem Sägemehl auf Karton angeordnet. Zur Bestrahlung diente eine Therapieröhre des Röntgeninstituts (Metalix Kontakt-Apparat: 50 KV ohne Filter). Focusdistanz (Focus-Wurzelspitzen) 20 mm Dosis : 250 r (12 Sek.) für alle bestrahlten Versuche.

Nach der Bestrahlung wurden sämtliche Bohnen (bestrahlte wie unbestrahlte) in spezielle Gläser gepflanzt. Diese wurden gefüllt mit feuchtem Sägemehl, das je nach der Versuchsreihe auch das entsprechende Ion enthielt. Nach 24 Stunden, vom Moment der Einpflanzung in die Gläser an gerechnet, wurde die erste Ablesung gemacht, d. h. es wurde die Wachstumszunahme jeder einzelnen Wurzel markiert. Diese Tätigkeit wurde über 7 Tage — und zwar immer zur selben Zeit — fortgesetzt. Dann wurde der Mittelwert für jeden einzelnen Tag errechnet.

Zur graphischen Darstellung der Ergebnisse gelangten aber nicht die absoluten Werte, sondern die in Prozentzahlen ausgedrückte Wachstumsveränderung (— Vermehrung resp. — Verminderung) bezogen auf die Kontrolle = 100 % resp. = 1.

Ausgedrückt wurde die Wachstumsbeeinflussung:

a) durch die *Ionen:* durch den Quotienten Ion/K, und zur Darstellung gebracht durch eine —— Kurve. Es bedeuten:
   Ion = Mittelwert aus unbestrahlten, mit Versuchssalz gezogenen Bohnen.
   K = Mittelwert aus unbestrahlten, ohne Versuchssalz gezogenen Bohnen (K l e e).

b) durch die *Bestrahlung:* durch den Quotienten Ion 250 r/Ion und dargestellt durch ····· Kurve. Es bedeuten:
   Ion 250 r = Mittelwert aus bestrahlten, mit Versuchssalz gezogenen Bohnen.
   Ion = Mittelwert aus unbestrahlten, mit Versuchssalz gezogenen Bohnen.

c) durch *Ionen und Bestrahlung:* durch den Quotienten Ion 250 r/K und dargestellt durch —·—· Kurve. Es bedeuten:
   Ion 250 r = Mittelwert aus bestrahlten, mit Versuchssalz gezogenen Bohnen.
   K = Mittelwert aus unbestrahlten, ohne Versuchssalz gezogenen Bohnen (K l e e).

3. Resultate

A. Versuche mit der Puffbohne

Die PUFFBOHNE wurde bei vorliegender Arbeit nur aus dem Grund benutzt, weil andere Objekte, deren Eignung zu strahlenbiologischen Untersuchungen verbürgt ist, anfänglich nicht erhältlich waren. Zudem stand nur eine begrenzte Quantität zur Verfügung, so daß nur die Reaktion auf die Anionen CNS und SO_4 geprüft werden konnte. Mehr der Vollständigkeit halber seien aber auch diese Versuche kurz besprochen.

a) Versuch mit KCNS: Fig. 1

Der Verlauf der —— Kurve gibt Aufschluß über den Einfluß des Ions CNS. Danach ist das Wachstum der Wurzel stark beeinträchtigt während der ganzen Zeit der Beobachtung, relativ am schwächsten am 1. Tag, und beträgt 68 % des normalen Wachstums der Kontrolle (unbestrahlt, ohne Ion), rel. am stärksten am 6. Tag: 27,5 %.

Ueber den Einfluß der Bestrahlung (250 r) im Vergleiche zur unbestrahlten Kontrolle (mit Ion) orientiert die ····· Kurve. Danach resultierte in den ersten 3 Tagen eine Wachstumsvermehrung, vom 4. bis 7. Tage hingegen eine Wachstumsverminderung.

Die —·—·— Kurve schließlich zeigt an, wie das Ion CNS zusammen mit der Bestrahlung auf das Wurzelwachstum wirkt, verglichen mit der unbestrahlten Kontrolle ohne Ion (K l e e). Aus dem Verlauf der Kurve ergibt sich, daß der Effekt ein mehr oder weniger *additiver* ist, und zwar besteht eine Wachstumsverminderung während der ganzen Zeit der Beobachtung, am geringsten am 1. Tag: 94,5 %, am stärksten am 6. Tag: ca. 20 %.

b) Versuch mit K_2SO_4: Fig. 2

Aus der Figur erkennt man, daß die Kurven ähnlich verlaufen wie beim Rhodanidversuch. Nur ist die Schädigung durch das Sulfation geringer, am stärksten auch wieder am 6. Tag, während am 7. Tag die Pflanze sich etwas erholte. Die Resultante (—·—·— Kurve) hat auch hier additiven Charakter.

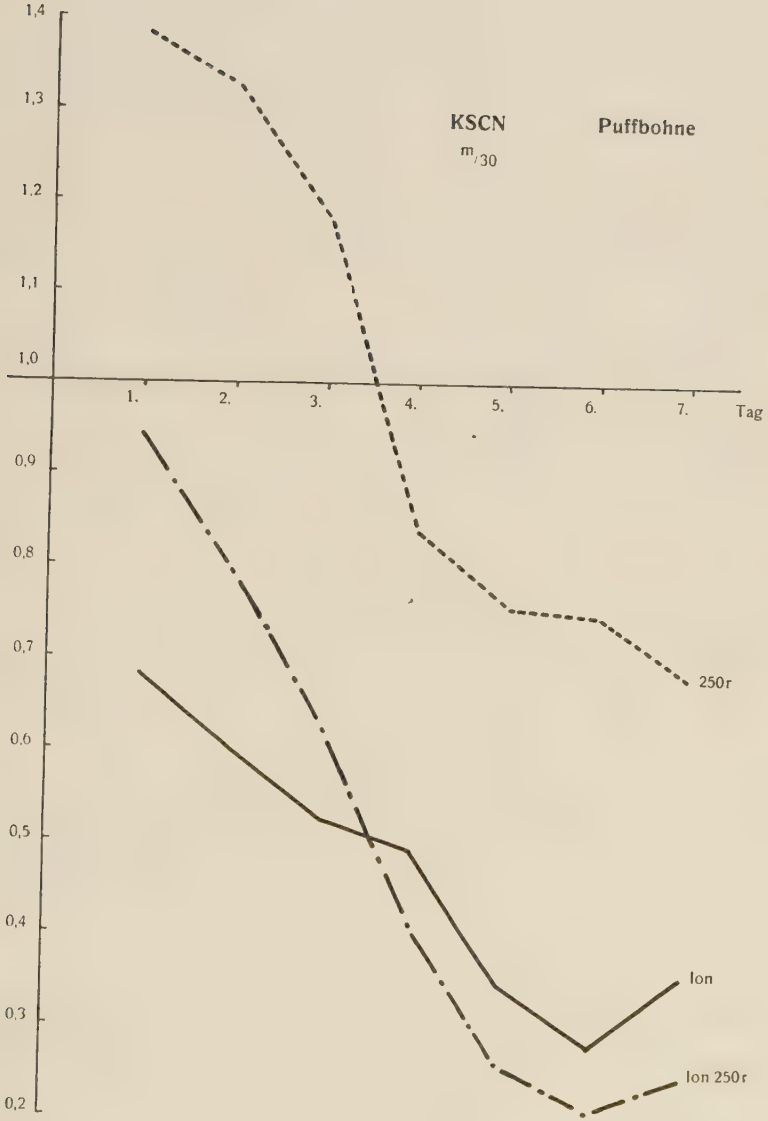
KSCN
m/30
Puffbohne
1,4
1,3
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
Tag
250r
Ion
Ion 250r

Fig. 1

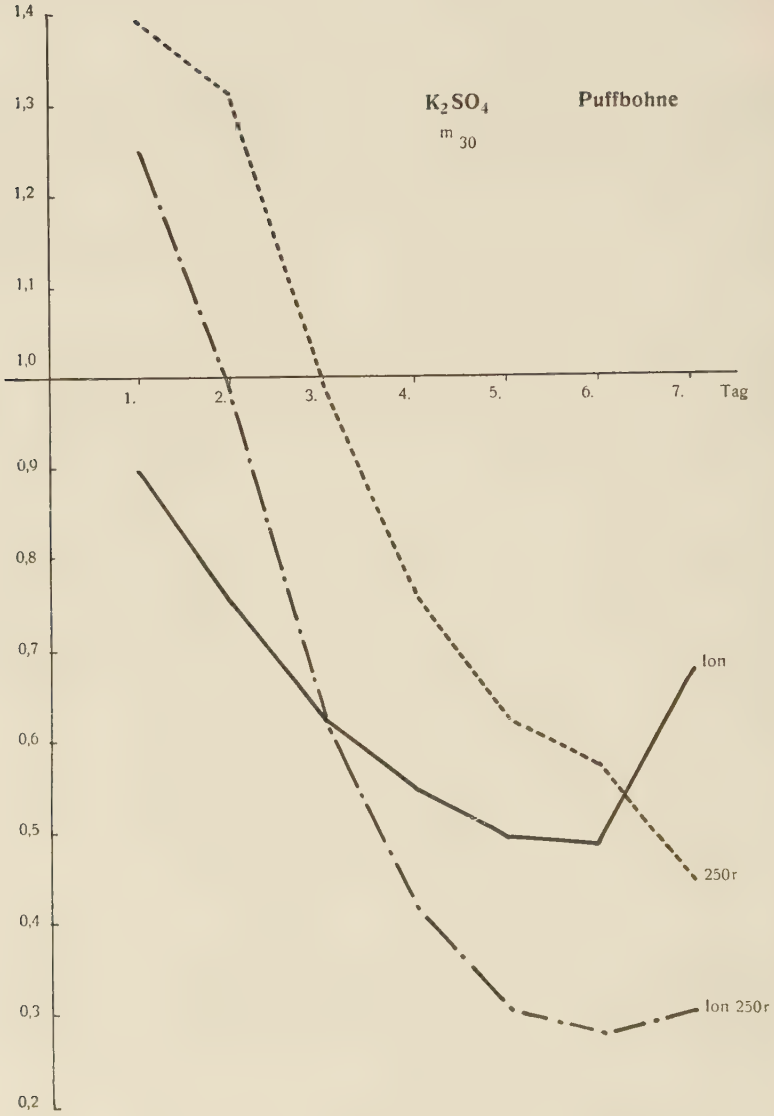
1,4
1,3
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
K_2SO_4
m 30
Puffbohne
1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
Tag
Ion
250r
Ion 250r

Fig. 2

B. Versuche mit der Soya Hispida

Die SOYA HISPIDA war in ausreichenden Quantitäten vorhanden, so daß die Versuche mit allen Ionen durchgeführt werden konnten. Doch ergibt sich aus dem unruhigen Verlauf der Kurven die geringe Eignung dieses Objektes. Der Vollständigkeit halber seien auch diese Versuche kurz skizziert.

a) Versuch mit KSCN: Fig. 3

Die Schädigung durch das Ion (—— Kurve) ist nicht sehr ausgeprägt, an 3 Tagen (1., 4. und 7. Tag) ist sie überhaupt nicht vorhanden, d. h. sie fällt mit der Norm (unbestrahlte Kontrolle ohne Ion: K l e e) zusammen.

Durch die Bestrahlung erhielt man eine geringe Wachstumsförderung vom 1. bis 4. Tag, eine geringe Beeinträchtigung aber vom 5. bis 7. Tag.

Die —·—·— Kurve (Einfluß von Ion und Bestrahlung) verläuft mehr oder weniger additiv mit Ausnahme des 2. und 3. Tages, wo die Schädigung durch das Ion über die Wachstumsförderung der Bestrahlung etwas dominierte und die Kurve etwas hinunterdrückte.

b) Versuch mit K_2SO_4: Fig. 4

Das Sulfat-Ion befördert das Wurzelwachstum am 1., 2. und 7. Tag, an den übrigen Tagen hemmt es. Die Bestrahlung bleibt anfänglich fast ohne Einfluß, fördert etwas am 5. Tag, hemmt am 7. Tag. Die —·—·—Kurve verläuft ausgesprochen additiv.

c) Versuch mit KNO_3: Fig. 5

Das Nitrat-Ion beförderte das Wurzelwachstum an allen Beobachtungstagen mit Ausnahme des 5. Die Bestrahlung allein hatte keinen großen Einfluß, und die Resultante (—·——·Kurve) verlief in additivem Sinne.

d) Versuch mit KCl: Fig. 6

Das Kurvenbild, das dieser Versuch ergab, ist etwas ausgeprägter als bei den bereits besprochenen. Das Chlor-Ion befördert das Wachstum in den ersten beiden Tagen, hemmt es aber dann immer mehr, am stärksten am 5. Tag: 56 %, und am 6. und 7. Tag ist die Schädigung etwas geringer. Die Bestrahlung ergab eine geringe Wachstumsförderung am 1. und 7. Tag, eine Hemmung am 3., 4. und 5. Tag. Die —·——·Kurve verläuft additiv.

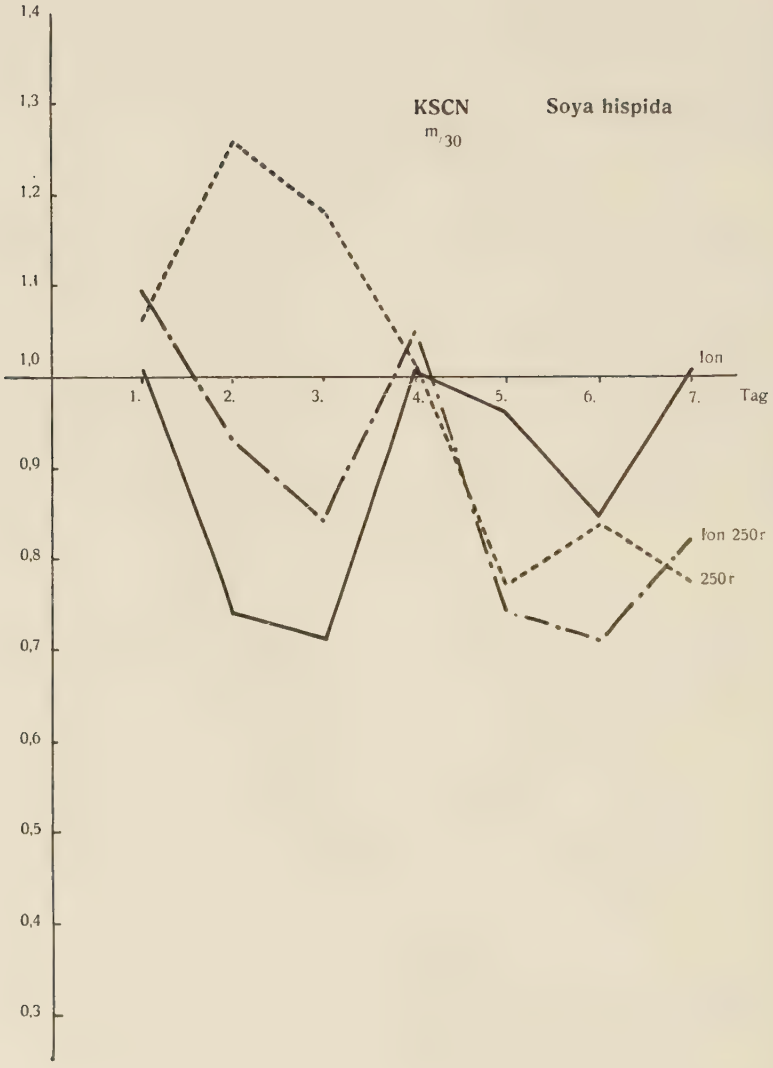
KSCN
m/30
Soya hispida
1,4
1,3
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
Tag
Ion
Ion 250r
250r

Fig. 3

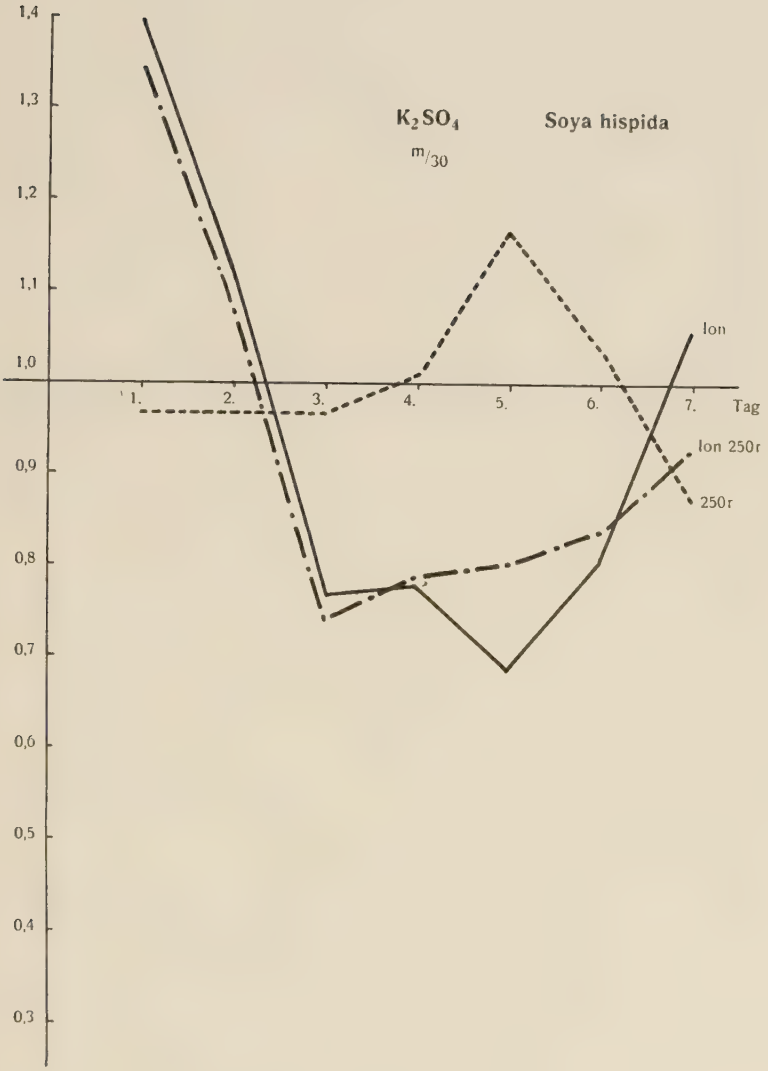
1,4
1,3
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
K_2SO_4
m/30
Soya hispida
1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
Tag
Ion
Ion 250r
250r

Fig. 4

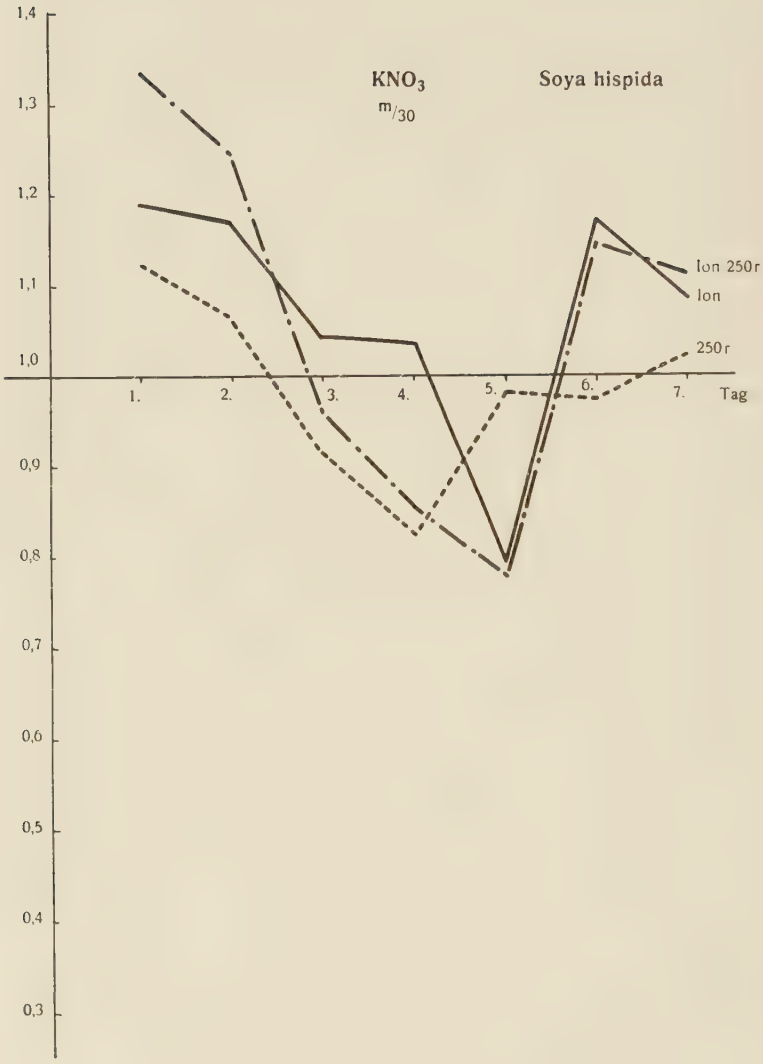
KNO3
m/30
Soya hispida
1,4
1,3
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
Tag
Ion 250r
Ion
250r

Fig. 5

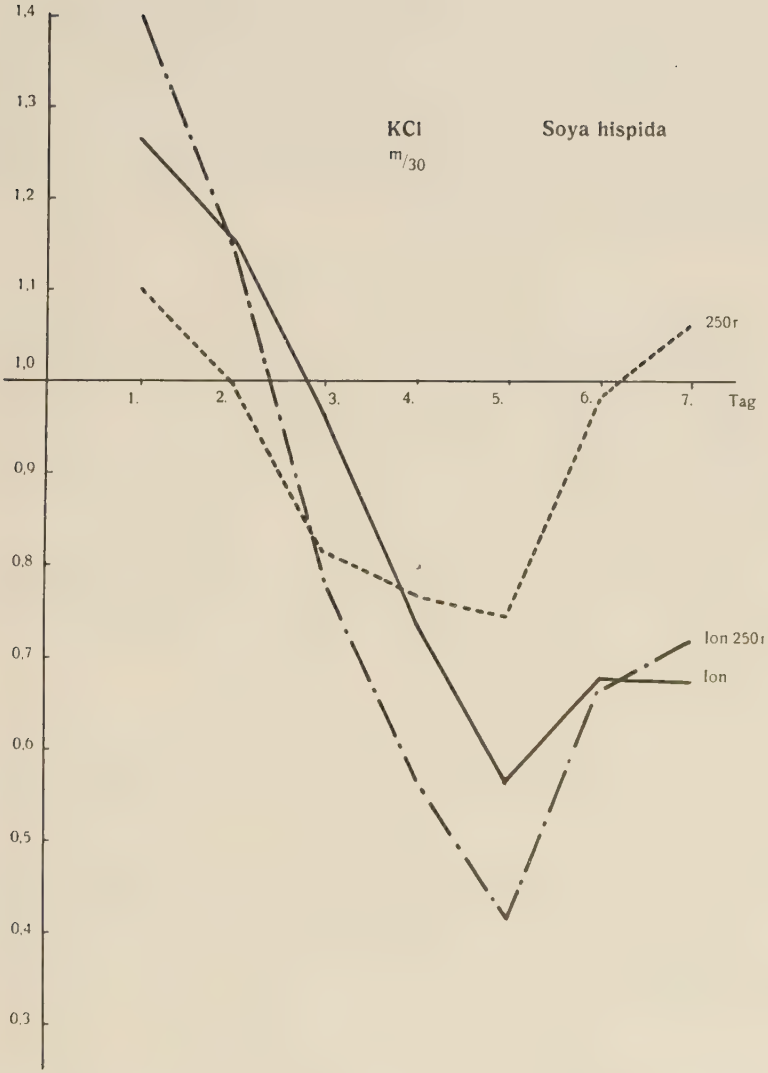
KCl
m/30
Soya hispida
250r
Ion 250r
Ion
Tag
1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
1,4
1,3
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3

Fig. 6

C. Versuche mit der Vicia faba equina

Nach langwierigen Bemühungen konnte schließlich das für strahlenbiologische Versuche geeignetste Objekt, die Pferdebohne VICIA FABA EQUINA in genügender Menge beschafft werden. Ihre Eignung dokumentiert sich auch durch die Einfachheit der Kurven, welche die Versuche ergaben. Zudem keimten regelmäßig ca. 90 % der Bohnen, während die entsprechenden Zahlen für die Puffbohne 15 bis 20 %, für die Soya hispida 40 bis 45 % betragen. Die Antwort auf das gestellte Thema werden daher hauptsächlich die Resultate dieser Species zu geben haben.

a) Versuch mit KSCN: Fig. 7

Die Schädigung, welche Rhodanid bewirkt, ist ganz beträchtlich und beträgt ständig weniger als 0,5 (resp. 50 %) in bezug auf die Kontrolle = 1 (resp. 100 %); sie ist relativ am geringsten am 5. Tag = 0,45, rel. am stärksten am 7. Tag = 0,15.

Die Beeinträchtigung durch die Bestrahlung mit 250 r ist außerordentlich deutlich. Sie manifestiert sich in einer kontinuierlich fallenden Kurve, beginnend mit einer Wachstumshemmung von 0,71 (Kontrolle = 1) und endigend mit einer absoluten Schädigung = 0,0 am 7. Tage.

Die Beeinflussung durch Rhodanid plus Bestrahlung ist — wie bei den früheren Versuchen — additiv, d. h. die —·—·Kurve verläuft noch tiefer als die beiden andern und fällt kontinuierlich von 0,26 am 1. Tag auf 0,00 am 7. Tag.

b) Versuch mit K_2SO_4: Fig. 8

Die Schädigung durch das Anion SO_4 ist an den beiden ersten Tagen recht gering = 0,91, wird aber vom 3. Tage an immer deutlicher, d. h. die Kurve fällt rasch ab, um am 7. Tag den Wert von 0,235 zu erreichen.

Die ····· Kurve (= Einfluß der Bestrahlung) verläuft fast genau gleich wie beim vorigen Versuch mit KSCN, beginnend mit 0,66 und erreicht die absolute Schädigung schon am 6. Kontrolltag.

Die —·—·Kurve (= Einfluß von Anion + Bestrahlung) verläuft auch diesmal tiefer als die beiden andern Kurven; die Schädigung ist also auch hier stärker.

c) Versuch mit KNO_3: Fig. 9

Aus Fig. 9 geht deutlich hervor, daß die Wachstumsbeeinträchtigung durch das Nitrat-Ion viel geringer ist als bei Rhodanid oder Sulfat. Sie ist gering am 1., 2., 4. und 6. Tag, etwas stärker am 5.

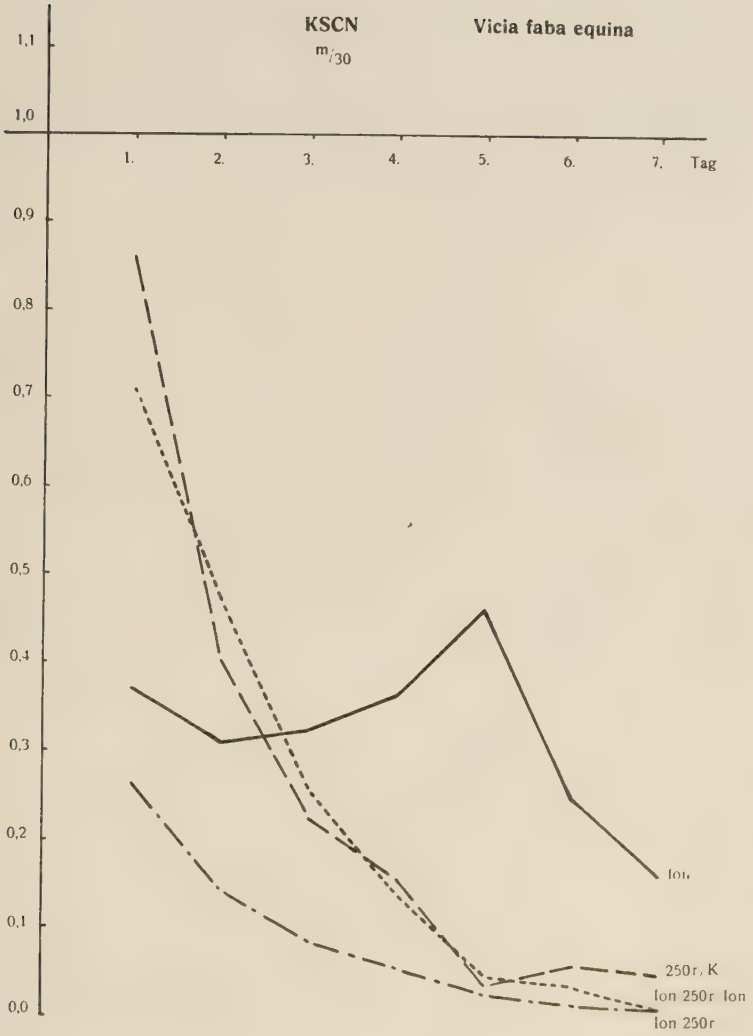
KSCN
m/30
Vicia faba equina
1,1
1,0
1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
Tag
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
Ion
250r/K
Ion 250r Ion
Ion 250r

Fig. 7

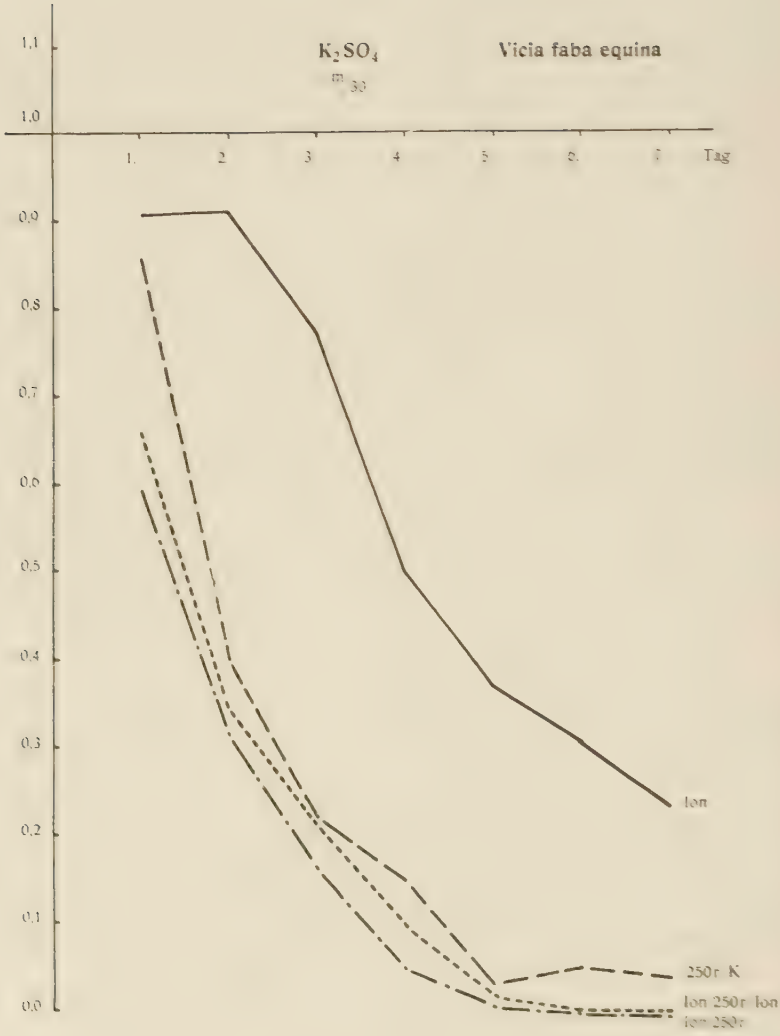

Fig. 8

(0,81) und am 7. Tag. Der 3. Tag zeigte sogar eine ganz geringe Wachstumsförderung von 1.01.

Der Bestrahlungseffekt läßt die Kurve anfänglich (bis 4. Tag) ähnlich verlaufen wie bei den beiden vorangegangenen Versuchen. Die Schädigung ist am stärksten am 4. Tag 0,1, sie ist etwas geringer am 5. Tag 0,12 und deutlich geringer am 6. Tag mit 0,24. Am 7. Tag fällt die Kureve wieder auf 0,145.

Der Effekt aus Bestrahlung + Ionenwirkung ist additiv; die —·—·Kurve verläuft immer tiefer als die (entsprechend dem doppelten schädigenden Einfluß von Ion und Bestrahlung) mit Ausnahme des 3. Tages, an dem die Kurve geschnitten wird, entsprechend der geringen Wachstumsreizung des Nitrat-Ions an diesem Tage.

d) Versuch mit KCl: Fig. 10

Hatte schon das Nitrat-Ion keinen wesentlichen Einfluß auf das Wurzelwachstum, so ist das beim Chlorid noch ausgesprochener der Fall. Es besteht eine geringe Wachstumsvermehrung am 1., 2., 3., 6. und 7. Tag, rel. am stärksten am 6. Tag = 1,11. Am 4. und 5. Tag bestand eine leichte Wachstumshemmung (0,93 am 5. Tag).

Die Kurve des Strahlungseffektes fällt kontinuierlich vom 1. Tag : 0,7 auf 0,4 am 5. Tag; sie steigt aber am 6. Tage wieder etwas an, auf 0,16, als ob sich die Pflanze etwas erholen wollte. Am 7. Tage liegt ihr Wert wieder etwas tiefer.

Die—·—·Kurve als Produkt aus Ion + Bestrahlung verläuft außer am 4. und 5. Tag immer über der Bestrahlungskurve, entsprechend dem Verlauf der —— Kurve, bestimmt durch das Chlor-Ion.

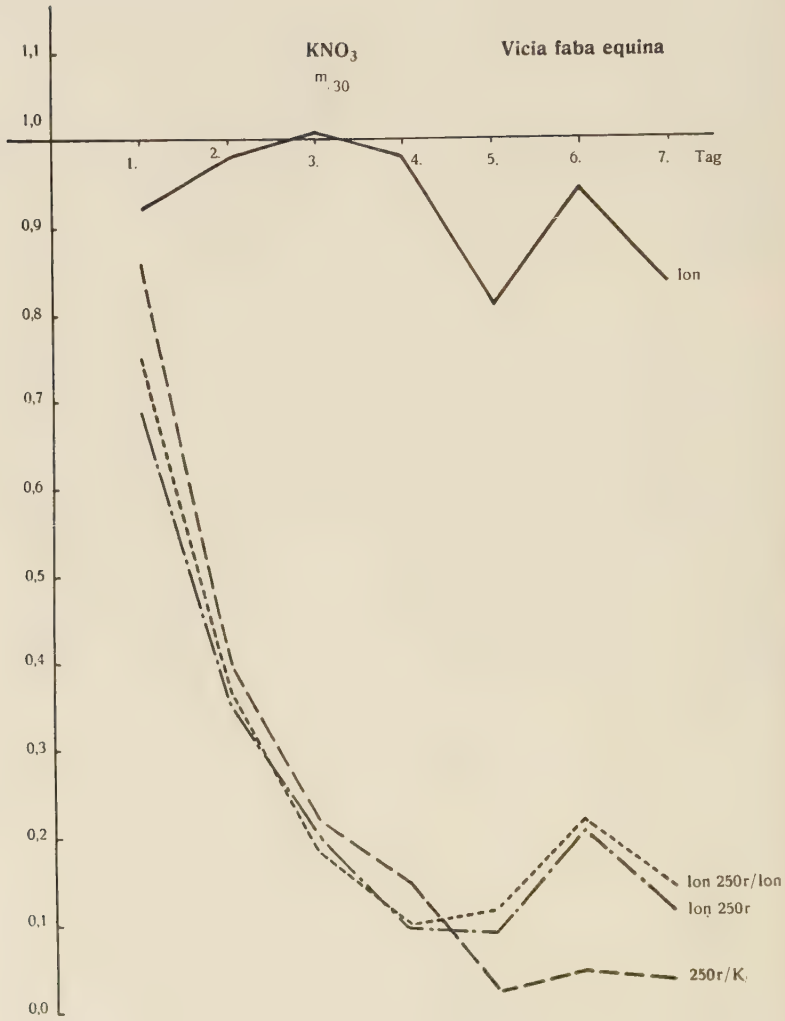
KNO3
m. 30
Vicia faba equina
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
Tag
Ion
Ion 250r/Ion
Ion 250r
250r/K

Fig. 9

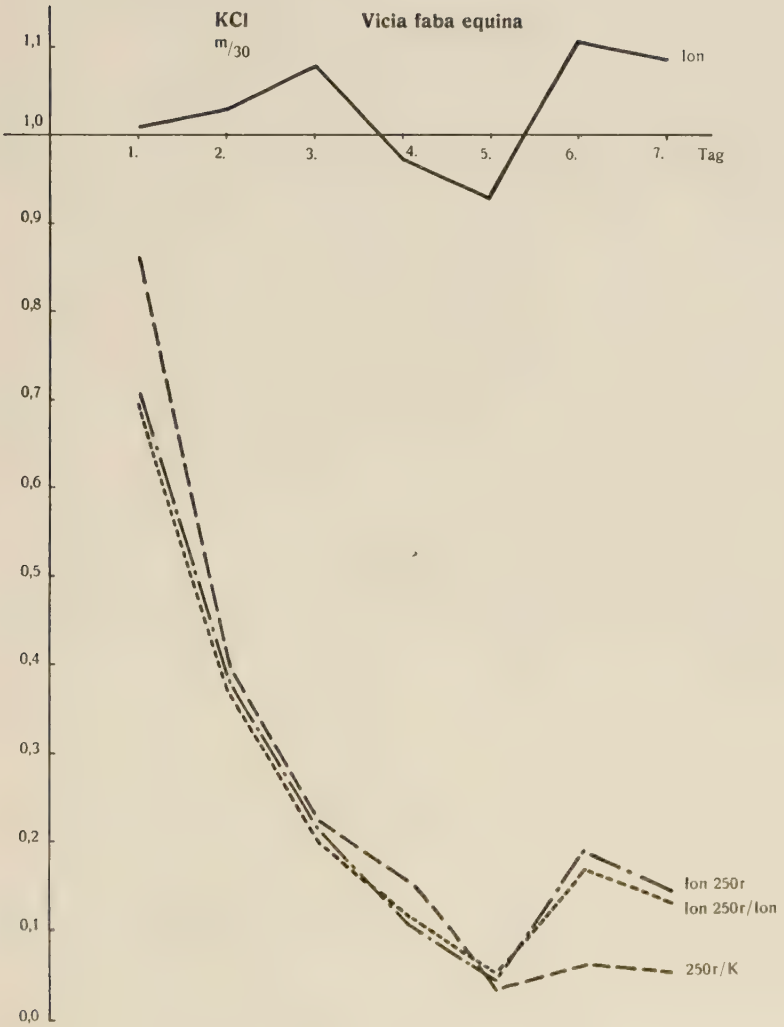
KCl
m/30
Vicia faba equina
Ion
1,1
1,0
1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
Tag
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
Ion 250r
Ion 250r/Ion
250r/K

Fig. 10

Tabelle 1

Vergleichende Tabelle der Bestrahlungsquotienten von $\frac{250\,r}{K}$ (Klee) und $\frac{Ion\ 250\,r}{Ion}$.

Tage	250r Klee	Cl	NO_3	SO_4	SCN
1.	0,86	0,70	0,75	0,66	0,70
2.	0,40	0,37	0,36	0,35	0,46
3.	0,22	0,20	0,18	0,21	0,25
4.	0,15	0,10	0,10	0,10	0,14
5.	0,03	0,04	0 11	0,02	0,04
6.	0,05	0,16	0,22	0,00	0,02
7.	0,04	0,12	0,14	0,00	0,00

Tabelle 1 gilt nur für die Versuche mit der Vicia faba equina. Die Klee'schen Werte sind in den Fig. 7—10——— und in Kurvenform dargestellt. Die ——— und ····· Kurven repräsentieren demnach obige Vergleichstabelle.

4. Fehlerberechnung

Für die bei vorliegender Arbeit erhaltenen Werte der mittleren Tageswachstumszunahme wurde der mittlere Fehler errechnet nach der Formel von Gauß:

$$\text{Mittlerer Fehler} = \pm \sqrt{\frac{\Sigma\ \Delta^2}{n\ (n\text{-}1)}}$$

Δ = Differenz des Einzelwertes zum Mittelwert.
n = Anzahl der Versuche = 5.

Tabelle 2

Tag	KSCN K	KSCN 250 r	K_2SO_4 K	K_2SO_4 250 r
1.	6,3 ± 0,16	4,5 ± 0,12	15,4 ± 0,39	10,1 ± 0,1
2.	4,9 ± 0,28	2,3 ± 0,1	14,6 ± 0,53	5,0 ± 0,17
3.	4,4 ± 0,18	1,1 ± 0,07	10,7 ± 0,43	2,2 ± 0,16
4.	4,0 ± 0,21	0,6 ± 0,07	5,6 ± 0,16	0,6 ± 0,04
5.	3,0 ± 0,2	0,1 ± 0,05	2,4 ± 0,25	0,04 ± 0,03
6.	0,9 ± 0,08	0,0 ± 0,00	1,1 ± 0,18	0,0 ± 0,00
7.	0,4 ± 0,07	0,0 ± 0,00	0,6 ± 0,16	0,0 ± 0,00

Tabelle 3

Tag	KCl K	KCl 250 r	KNO_3 K	KNO_3 250 r
1.	17,1 ± 1,37	12,0 ± 0,36	15,6 ± 1,58	11,7 ± 0,4
2.	16,5 ± 0,74	6,1 ± 0,43	15,6 ± 0,94	5,7 ± 0,87
3.	15,0 ± 0,72	3,0 ± 0,27	14,8 ± 0,71	2,7 ± 0,51
4.	10,8 ± 1,17	1,1 ± 0,14	10,9 ± 1,38	1,1 ± 0,27
5.	6,0 ± 1,02	0,2 ± 0,08	5,3 ± 0,98	0,6 ± 0,3
6.	4,2 ± 0,69	0,7 ± 0,23	3,6 ± 0,97	0,8 ± 0,37
7.	2,7 ± 0,74	0,3 ± 0,07	2,1 ± 0,53	0,3 ± 0,14

III. Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Mit vorliegender Arbeit wurde versucht, herauszufinden, ob und evtl. wie bestimmte Anionen (Cl, SO_4 usw.) den Strahleneffekt bei der Vicia faba equina beeinflussen. Aufschluß darüber gibt uns die Tabelle 1, in welcher die erhaltenen Werte verglichen werden mit den Werten von W. Klee, der Versuche ausführte mit dem gleichen Objekt und mit der gleichen Dosis von 250 r, aber ohne Beimischung irgendwelcher Ionen.

Am 1. Tag liegen die von mir gefundenen Werte sämtlich etwas unter dem Vergleichswert (Klee), und zwar um 10 bis 20 %. Doch ist nach Berechnung von W. Minder der Klee'sche Vergleichswert wahrscheinlich für diesen Tag etwas zu hoch ausgefallen, so daß die Unterschiede tatsächlich etwas geringer sind als sie Tabelle 1 angibt.

Am 2. Tag haben wir mehr oder weniger eine Gleichheit der Werte, d. h. die Unterschiede zum Vergleichswert sind so gering (3—6 %), daß sie nicht ins Gewicht fallen. Für Cl, NO_3 und SO_4 sind die Werte eher etwas niedriger, für SCN etwas höher.

Analoge Verhältnisse finden wir am 3. Tage. Die Unterschiede betragen 1—4 % und einzig der Wert von SCN liegt etwas höher.

Am 4. Tage sind die gefundenen Werte ebenfalls etwas niedriger (1 % und 5 %), während sie am 5. Tage eher etwas höher sind (1—8 %).

Am 6. Tage sind die Werte von Cl und NO_3 etwas höher, jene von SO_4 und SCN niedriger. Gleiche Verhältnisse finden sich auch am 7. und letzten Beobachtungstage.

Der Einfluß der verwendeten Anionen wirkt sich auf den Verlauf der Bestrahlungskurven nur additiv aus; der Strahlungseffekt wird nicht sicher beeinflußt. Es ist also die im Thema enthaltene Frage im wesentlichen zu verneinen.

Literaturverzeichnis

1. Holthusen H. und R. Braun: Grundlagen und Praxis der Röntgenstrahlendosierung.
2. Liechti A. und W. Wilbrandt: Untersuchungen über die Strahlenhämolyse 1941: Strahlentherapie 70, S. 541.
3. Salzmann A.: Diss. Bern 1940.
4. Doelken K.: Diss. Bern 1940.
5. Backes H.: Diss. Bern 1940.
6. Herren P.: Diss. Bern 1940.
7. Rösli V.: Diss. Bern 1941.
8. Arnold J.: Diss. Bern 1940.
9. Hauser J.: Diss. Bern 1942.
10. Klee W.: Diss. Bern 1942.
11. Hügi E.: Diss. Bern.